

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-106900

(43)Date of publication of application : 22.04.1997

(51)Int.Cl.

H05H 1/46  
C23C 16/50  
C23F 4/00  
H01L 21/205  
H01L 21/3065

(21)Application number : 08-124351

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 20.05.1996

(72)Inventor : YOSHIOKA TAKESHI  
KANAI SABURO  
KAJI TETSUNORI  
NISHIO RYOJI  
EDAMURA MANABU

(30)Priority

Priority number : 07120992  
07202016

Priority date : 19.05.1995  
08.08.1995

Priority country : JP

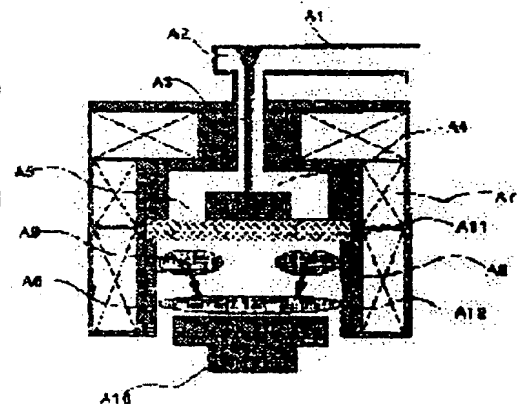
JP

## (54) PLASMA PROCESSING METHOD AND PLASMA PROCESSING DEVICE

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable uniformity processing for samples such as semiconductor board (wafer) by using a microwave or a high frequency with its bandwidth of 10 to 100MHz so as to generate a plasma and using this plasma.

**SOLUTION:** A microwave is sent by means of a wave guide tube A1. This microwave migrates to coaxial TEM mode by means of a coaxial wave guide tube converter A2, and is conveyed to a short diameter coaxial tube A3. The microwave output from the coaxial tube A3 moves to a parallel disc wave guide tube A4 and is scattered. After the scattering, it moves to a long diameter coaxial tube A5 and enters the inside of a processing chamber 6. An electromagnetic coil A7 for generating static magnetic field is around the processing chamber, and an ECR face A8 is formed. A plasma generating unit A9 is ring-shaped in response to this reaches a wafer (semi-conductor board) setting electrode A10, and is uniformalized.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3355926

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-106900

(43) 公開日 平成9年(1997)4月22日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 1/46			H 0 5 H 1/46	B
				C
C 2 3 C 16/50			C 2 3 C 16/50	
C 2 3 F 4/00			C 2 3 F 4/00	D
H 0 1 L 21/205			H 0 1 L 21/205	

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平8-124351	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22) 出願日	平成8年(1996)5月20日	(72) 発明者	吉岡 健 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会 社日立製作所笠戸工場内
(31) 優先権主張番号	特願平7-120992	(72) 発明者	金井 三郎 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会 社日立製作所笠戸工場内
(32) 優先日	平7(1995)5月19日	(72) 発明者	加治 哲徳 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会 社日立製作所笠戸工場内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 小川 勝男
(31) 優先権主張番号	特願平7-202016		
(32) 優先日	平7(1995)8月8日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

最終頁に続く

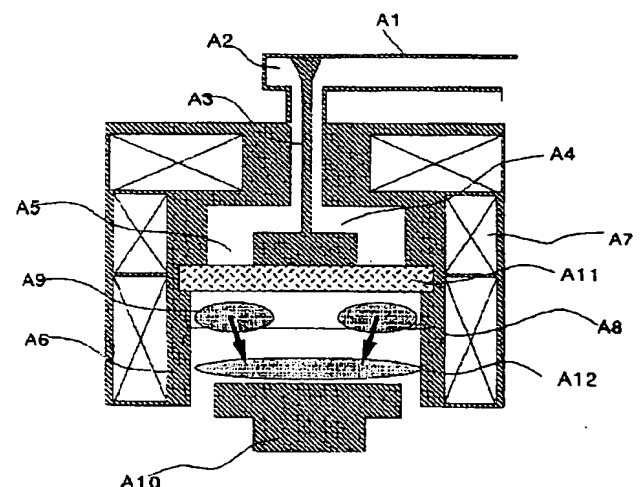
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 マイクロ波のプラズマによる装置においては、大電力のマイクロ波が伝送出来ず、工業的に要求されるレベルの高密度プラズマを生成できないという課題があった。また、高周波のプラズマにより処理をする装置においては、異物を生じさせることなく、ウエハ面上に均一なプラズマを形成できない課題があった。

【解決手段】 同軸導波管3で送られてきたマイクロ波を平行ディスク導波管4で拡大し、拡大同軸部5から放射する。あるいは、高周波を通じるループアンテナ(3)と、ループアンテナ(3)をとり囲んで構成された空洞共振器(4)、空洞共振器(4)のプラズマに面する側に2重構造スリット(5)を設けたことを特徴とする。

図 1



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】試料をプラズマにより処理する方法において、前記プラズマの密度分布を独立に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項2】試料をプラズマにより処理する方法において、前記プラズマの密度分布をECRの位置調節あるいは磁場勾配により、独立に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項3】試料をプラズマにより処理する方法において、前記試料の材質に基づき、前記プラズマの密度分布を制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項4】試料をプラズマにより処理する方法において、プラズマ密度分布、ガス分布、バイアス分布をそれぞれ独立に制御することにより、試料を均一に処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項5】マイクロ波導入装置と、静磁界を発生する磁場コイルと、導入されたマイクロ波でプラズマを発生する処理室と、処理室にガスを供給するガス供給装置と、ウェハを保持する試料台と、処理室を真空排気する真空排気装置から成るプラズマ処理装置において、前記マイクロ波導入装置は、マイクロ波を同軸TEMモードで伝送するように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項6】マイクロ波導入装置と、垂直静磁界を発生する磁場コイルと、導入されたマイクロ波でプラズマを発生する処理室と、処理室にガスを供給するガス供給装置と、ウェハを保持する試料台と、処理室を真空排気する真空排気装置から成るプラズマ処理装置において、前記マイクロ波導入装置は、同軸導波管変換器と、小径同軸導波管と、平行平板ディスク状導波管と、拡大同軸導波管と、マイクロ波導入真空窓とを具備したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項7】前記小径同軸導波管は、小径同軸導波管インピーダンス $Z_0 (=60 \ln(R_3/R_4))$ 、 $R_3$ ：同軸管外導体半径、 $R_4$ ：同軸管内導体半径と、ディスク導波管との接合部におけるディスク導波管側のインピーダンス $Z_1 (=60b/R_3)$ 、 $b$ ：平行ディスク間距離とが一致し、かつ拡大同軸導波管インピーダンス $Z_2 (=60 \ln(R_2/R_1))$ 、 $R_2$ ：同軸管外導体半径、 $R_1$ ：同軸管内導体半径と、ディスク導波管との接合部におけるディスク導波管側のインピーダンス $Z_1 (=60b/R_1)$ とが一致するよう $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $b$ を選んだことを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】前記拡大同軸導波管は、拡大同軸導波管の外径 $R_2$ が、マイクロ波真空窓に接続する処理室の内接 $R_5$ よりも小さくなるように( $R_2 < R_5$ )したことを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】前記マイクロ波は、使用するマイクロ波としては周波数が500MHzから5GHzの範囲である

ことを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】前記マイクロ波は、周波数の異なる複数のマイクロ波源を同時に使用することを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】前記マイクロ波は、周波数が可変のマイクロ波源を使用することを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】前記マイクロ波導入真空窓は、真空窓部のうち、マイクロ波放射部に相当する部分( $R_1 < R < R_2$ )以外の部分のプラズマに接する部分に、アース導体板あるいはSiやSiCなどの半導体板を設置したことを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】前記マイクロ波導入真空窓は、真空窓部のうち、マイクロ波放射部に相当する部分( $R_1 < R < R_2$ )以外の部分を利用して、処理ガス導入手段を設置したことを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】前記マイクロ波導入真空窓は、マイクロ波放射部に相当する部分( $R_1 < R < R_2$ )以外の部分を利用して磁場コイルあるいは永久磁石を設置したことを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項15】前記平行平板ディスク状導波管は、小径と大径の二つのリング状開口部を持ちそれぞれの開口部に対して、拡同軸導波管が接続された構成をとることを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項16】前記拡大同軸導波管は、二つの拡大同軸管へのマイクロ波のパワー配分が可変と出来る手段を有することを特徴とする請求項6記載のプラズマ処理装置。

【請求項17】処理室、および試料載置手段、装置室へのガス導入手段、プラズマ発生手段を有するプラズマ処理装置において、

高周波を通じるループアンテナ、ループアンテナをとり囲むように構成された空洞共振器、空洞共振器のプラズマに面する側にスリットで構成されるアンテナモジュールを設けたことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項18】請求項17において、前記アンテナモジュールがリング形状であり、円筒状処理室の上面に載置したことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項19】請求項17のアンテナモジュールにおいて、前記ループアンテナと、スリット導体との間に、誘電材料スペーサを挿入したことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項20】請求項17において、前記処理室として、ドーム状石英ベルジャを用い、その上にアンテナモジュールを載置したことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項21】請求項17において、前記アンテナモジュールとして、複数の直線状アンテナモジュールを用い

たことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項22】請求項17において、前記アンテナモジュール内部を差動排気とし、アンテナモジュールと処理室との境界に薄い誘電体材料を設置すると同時に、リング状アンテナモジュールのリング内に接地導体を設置し、かつ資料載置台に第2の高周波を印加出来る構造としたことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項23】請求項17において、前記リングアンテナモジュールを円心円状に二系統配し、それぞれ別高周波電源に接続したことを特徴とした電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項24】請求項17において、前記処理室として、ミルクハット型石英ベルジャを用い、アンテナモジュールをベルジャ側面に配したことを特徴とした電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項25】請求項19において、前記スリット導体の代わりに、薄手誘電体板に、スリットパターンを金属蒸着したものを二枚重ねた構造と、スパーサと空洞共振器間を封着あるいはリングによって気密構造としたことを特徴とする電磁結合プラズマ処理装置。

【請求項26】請求項17乃至25のいずれかにおいて、アンテナモジュールが真空を構成する処理室内の内側に設置されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置に係り、特にマイクロ波や10～100MHz帯の高周波を用いてプラズマを発生させ、該プラズマを用い半導体基板（以下ウェハと略）等の試料を処理するのに好適なプラズマ処理方法及びプラズマ処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、マイクロ波を処理室内に導入し、プラズマを発生させる装置においては、特に試料の被処理面上でのプラズマ密度分布が均一であることが、\*

$$3 \sim 10 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} \dots (\text{数} 1)$$

【0007】と低いレベルに留まっており、工業的に必要なレベル ※ 【0008】

$$(3 \sim 10^{11} \text{ cm}^{-3} \text{ 以上}) \dots (\text{数} 2)$$

【0009】に達していない。これは、両者ともマイクロ波の出口部に永久磁石による局所磁場を用いているためにマイクロ波の吸収効率が最適ではないこと、大電力マイクロ波が透過出来るよう、マイクロ波伝送路設計が最適化されていないことが原因と考えられる。又、従来技術の文献Aの例だと、プラズマ処理室内に複雑な三次元形状した構造物が導入されることになり、異物発生の原因となる。また、従来技術の特開平6-112161号公報は、同軸線路をテーパ状に開く構成となってお

\* エッチング等処理の均一性を確保する上で重要である。このためには、従来のプラズマ処理装置としては、例えば、文献A、「応用物理学会1994秋、19p-ZV-4」あるいは、文献B、「応用物理学会1994秋、19p-ZV-6」にあるように、マイクロ波を処理室上面からリング状に放射し、これによりプラズマの発生をリング状に行うことによって、結果としてウェハ面上で均一なプラズマ分布を得る方法がある。これは、プラズマが発生場所からウェハ方向に輸送されるに従って拡散する性質があるためである。又、最終的にはエッチング速度そのものの均一性が要求されるのであるが、その場合、プラズマ密度分布は均一よりも凹型分布の方が良好であったり、凸型の方が良好であったりするので、その調整手段を持っていることが望ましい。

【0003】また、同じくプラズマをリング状に作ろうとする手段として、例えば特開平6-112161号公報記載のものがある。

【0004】一方において近年、特開平3-79025号公報に代表される誘導結合RF（高周波）プラズマ源は、CVDやエッチング用のプラズマ源として多用されている。これは、コンパクトな構成でありながら、マイクロ波ECRプラズマ源と同等の高密度（ $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ）と低圧動作（ $1 \sim 10 \text{ mTorr}$ ）を可能にしたものである。この方式においても、マイクロ波の場合と同様にプラズマの均一性を確保する手段が求められると同時に、下記に述べる壁面スパッタによる異物発生の問題を解決していく必要がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本項目では、まずマイクロ波のプラズマ均一性に関する課題を述べる。上記従来技術の文献A、文献Bは、リング状プラズマ放射手段を有しており、均一プラズマを作るのに適した構成となっているが、到達プラズマ密度が

【0006】

【数1】

り、マイクロ波放射部が大型化する構造となっている。

【0010】つぎに、高周波の場合のプラズマ均一化と異物制御の課題について述べる。上記従来方式（特開平3-79025）は、真空チャンバの内面がイオン衝撃によりスパッタされ、削れを起こしてしまいウェハに対する異物の増加や真空チャンバ内部品の交換頻度が大きい、プラズマがチャンバ内において、中心集中傾向でプラズマの均一性が充分でない等の問題を有していた。

【0011】この内壁スパッタは、真空チャンバの外側

に置かれた誘導コイルが、プラズマと本来の目的である誘導的結合する以外に、部分的に静電結合してしまい、この静電結合によってイオンが内壁に向かって加速されスパッタを起すとされている。そこで、このスパッタリングを抑えるために、誘導コイルと真空チャンバとの間に、ファラデーシールドと呼ぶ、すのこ状導体を導入し、静電結合成分を除去しようという試みがあるが、その効果は完全ではなく、スパッタによる削れが依然として問題となっている。

【0012】（例えば、Y.Hikosaka, et, al, "Free Radicals in an Inductively Coupled Etching Plasma", Jpn. J. Appl. Phys. Vol33 (1994) pp2157-2163 Part 1, No4B, April 1994)

また、特開平3-79025の方式では、プラズマの生成領域がチャンバ上面の全面にわたるため、上述したプラズマの拡散効果と相まって、試料ウェハ上ではプラズマは中央集中となってしまっていた。

【0013】また、この従来技術（特開平3-79025）のプラズマ処理装置の別の問題として、プラズマの着火性と、安定性の問題があった。誘導方式によってプラズマを点火しようとする場合、処理室の上面を誘電体材料で構成し誘導コイルが作る磁束が処理室内に入るようにしておく必要があるが、このため誘電体材料の肉厚を厚くする必要があり（真空力をもたせるため）その結果誘導コイルとプラズマ上面との距離が大きくなってしまいプラズマの着火性と安定性が急激に悪くなる。

【0014】第3の問題として、上記厚手誘電体を用いざるを得ないことから試料に平行な対向接地電極を持ちにくい構造となっていることが挙げられる。一般に、エッチャーやCVDでは試料載台置に、高周波バイアスを印加して処理の高精度化を図るが、試料に平行な対向接地電極がない場合には、処理が不均一になってしまう。すなわち、接地電極が、チャンバの側壁にある場合、高周波バイアス回路のうちプラズマを通る部分の距離が、ウェハ中央とウェハ外周とで異なってしまいウェハへのバイアスのかかり方が均等でなくなる。とくに、ウェハが大口径（8インチ→12インチ）にすると、この課題は顕著になる。

【0015】第4の問題として、誘導RFコイルは入力インピーダンスが高く、給電端が高電圧となって異常放電を起したり、静電結合成分が増えてスパッタリングを起したり、マッチングがとれにくくなって放電不安定を起したり、着火性を阻害したりと種々の悪影響がある。

【0016】本発明の目的は、コンパクトなリング状マイクロ波放射手段により、均一プラズマを生成すると同時に大電力を伝送し、工業的に要求されるレベルの高密度プラズマを生成でき、かつウェハ面上の均一性が調整可能なプラズマ処理方法及びプラズマ処理装置を提供することにある。

【0017】また、本発明の他の目的は、処理室内に異

物発生の原因となるような構造とせず、かつウェハ面上の均一性が調整可能なプラズマ処理方法及び装置を提供することにある。とくに、高周波プラズマの場合問題となる4つの課題

- (1) 静電結合成分の除去によるスパッタ信頼性の向上
- (2) プラズマとRFアンテナとの近接
- (3) 対向接地電極の設置
- (4) コイルの低インピーダンス化

を同時に、あるいは部分的に解決できる新しい原理に基づく電磁結合プラズマ処理装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的は、試料をプラズマ処理時、該プラズマの密度分布を独立に制御する。

望ましくは、前記プラズマの密度分布をECR位置調節、あるいは磁場勾配により独立制御する。

【0019】さらに、望ましくは、前記試料の材質に基づき、前記プラズマの密度分布を制御する。

【0020】さらに、望ましくは、プラズマ密度分布、ガス分布、バイアス分布をそれぞれ独立に制御することにより、試料を均一に処理する。

【0021】また、上記目的は、マイクロ波導入装置と、垂直静磁界を発生する磁場コイルと、導入されたマイクロ波プラズマを発生する処理室と、処理室にガスを供給するガス供給装置と、ウェハを保持する試料台と、処理室を真空排気する真空排気装置から成るプラズマ処理装置において、前記マイクロ波導入装置は、マイクロ波を、同軸TEMモードで伝送することを特徴とする。

【0022】望ましくはマイクロ波導入装置と垂直静磁界を発生する磁場コイルと、導入されたマイクロ波プラズマを発生する処理室と、処理室にガスを供給するガス供給装置と、ウェハを保持する試料台と、処理室を真空排気する真空排気装置から成るプラズマ処理装置において、前記マイクロ波導入装置は、同軸導波管変換器と、小径同軸導波管と、平行平板ディスク状導波管と、拡大同軸導波管と、マイクロ波導入真空窓とで構成される。

【0023】望ましくは、小径同軸導波管インピーダンス $Z_0 (=60 \ln(R_3/R_4))$ 、 $R_3$ :同軸管外導体半径、 $R_4$ :同軸管内導体半径)と、ディスク導波管との接合部におけるディスク導波管側のインピーダンス $Z_1 (=60b/R_3)$ 、 $b$ :平行ディスク間距離)とが一致し、かつ拡大同軸導波管インピーダンス $Z_2 (=60 \ln(R_2/R_1))$ 、 $R_2$ :同軸管外導体半径、 $R_1$ :同軸管内導体半径)と、ディスクとの接合部におけるディスク導波管側のインピーダンス $Z_1 (=60b/R_1)$ とが一致するよう $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $b$ を選んだことを特徴とする。

【0024】望ましくは、拡大同軸導波管の外径 $R_2$ が、マイクロ波真空窓に接続する処理室の内径 $R_5$ よりも小さくなるように( $R_2 < R_5$ )したことを特徴とする。

【0025】望ましくは、使用するマイクロ波としては周波数が500MHzから5GHzの範囲であることを特徴とする。

【0026】望ましくは、使用するマイクロ波として、周波数の異なる複数のマイクロ波源を同時に使用することを特徴とする。

【0027】望ましくは、使用するマイクロ波として、周波数が可変のマイクロ波源を使用することを特徴とする。

【0028】望ましくは、真空窓部のうち、マイクロ波放射部に相当する部分( $R_1 < R < R_2$ )以外の部分のプラズマに接する部分に、アース導体板あるいはSiやSiCなどの半導体板を設置したことを特徴とする。

【0029】望ましくは、マイクロ波放射部に相当する部分( $R_1 < R < R_2$ )以外の部分を利用して磁場コイルあるいは永久磁石を設置したことを特徴とする。

【0030】望ましくは、平行平板ディスク状導波管は、小径と大径の二つのリング状開口部を持ちそれぞれの開口部に対して、拡同軸導波管が接続された構成をとることを特徴とする。

【0031】望ましくは、二つ拡大同軸管へのマイクロ波のパワー配分が可変と出来る手段を有することを特徴とする。

【0032】また、上記した第2の目的群、すなわち高周波誘導プラズマに対する均一性確保と壁面スパッタ除去手段提供に関しては、本発明では誘導結合型RFコイルに代わって、電磁結合型RFアンテナシステムを用いる。RFアンテナシステムとは、導体で囲まれた閉じた空間内に高周波電流を流す中心導体を配し、閉じた空間のプラズマに面する側には、中心導体プラズマを直視することのないように巧妙に開けられたスリットを有している。中心導体と閉じた空間は、電磁的に共振状態となるように、空洞共振器形成している。空洞共振器内から、スリットを介してもれ出した電磁波は、プラズマ中に伝播しプラズマを発生させる。このような、共振空洞を用いた電磁結合方式により原理的に従来技術に見られたような、静電結合成分の発生は完全に除去することが出来、スパッタや壁削れ等の問題をなくすることが出来ると同時に、上記した4つの課題を解決する構造を実現することが出来る。

【0033】望ましくは、本アンテナシステムは、真空チャンバを構成する誘導体窓のむこう側ではなく、こちら側に設置されることを特徴とする。

【0034】望ましくは、スリット導体は電位的にフローティングと接地電位とが切り替えられることを特徴とする。

【0035】同軸リング状にマイクロ波を放射し、電子サイクロトロン共鳴(ECR)を起こすための静磁場の強度(マイクロ波2.45GHzを用いる場合、 $B=875\text{ gauss}$ )を調整すれば、プラズマ発生領域(す

なわち電子サイクロトロン共鳴位置)がリング放射源の直下となり、リング状にプラズマが発生する。プラズマは拡散するので、ウェハ上に輸送された時には均一なプラズマ分布となる。

【0036】同軸リングの直径を変えるかリング放射源を二重とし、それぞれからのマイクロ波放射強度を変えれば、ウェハ面上のプラズマ均一度を変えることができる。すなわち、二重リングのうち内周側に強くすれば中心集中寄り、外周側に強くすれば外周集中寄りの分布となる。

【0037】マイクロ波はリング放射器を出たあと、すぐにプラズマに吸収されないようにECR共鳴位置を下げれば、マイクロ波強度分布が拡散し、そのうちプラズマに吸収されるので、ウェハ面上のプラズマ均一性が可変となる。すなわち、静磁場強度を変えることによって均一度を変えることができる。

【0038】本発明は、リング状マイクロ波放射源を真空導入窓を介して大気側に設置するので放射源そのものに起因する異物発生懸念はなくなる。

【0039】リング放射器を用いるので、放射器の中央部にはウェハ対向電極を設置することができる。すなわち、従来のECR型マイクロ波プラズマ処理装置は、ウェハに対向する位置に電極を設置できにくい構造となっており、高周波バイアスが均等にかかりにくかったが、本発明によればこれを解決することができる。又、この中央部分には処理ガス吹き出しのためのガス配管や、処理プラズマ中の過剰なラジカルを吸収するための部材(例えばフッ素ラジカルに対するSiプレートスカベンジャー)を設置することもできる。

【0040】又、マイクロ波リング放射源をプラズマ処理室内の内壁側壁から離れた位置に設置するようにすれば、プラズマ発生位置が壁に直接触れることがなくなり、高解離ラジカルの堆積による異物発生や、側壁材料の損傷を避けることができる。

【0041】また、高周波型プラズマの場合について下記に説明する。上記の電磁結合型プラズマ発生の原理を、図を用いて、より詳細に説明する。

【0042】図2(a)は本発明の原理を示す説明図である。図2(a)において、RF電源1はマッチングボックス2を介して、ループアンテナ本体3に導かれている。ループアンテナは、空洞共振器4で四方をとり囲まれており、そのプラズマに面する側の面のみスリット5があいている。図2(b)には、この縦断面を示すが、スリット5は二層のスリットが、交互に重ならないように配した構成となっており、これによってアンテナ本体3がプラズマを直視することなく、かつアンテナが放出する電磁波成分のみをプラズマ側に伝播させることが出来るようになっている。この様子をさらに、詳細に説明する。図2(a)(b)を参照して、アンテナ導体には交流1が流れるとする。戻り電流1'は、ネジ止めされ

ている空洞共振器の側板および、背板を通して戻る。  
 (電流は、スリット部には流路形成しないので流れない。) このアンテナ電流  $I$  と戻り電流  $I'$  によって、交流磁界  $H$  が生成され、その一部が、スリットを介して外部に漏れ出す。この外部に漏れた磁界が、マックスウェルの電波伝播則に従って、電界  $E$  のリングと次の磁界のリング (図示されていない) を、次々と、互いに直交する形で形成されプラズマ 6 の方向に伝わる。このように、本発明では閉空間のアンテナ室から放射される電磁波成分のみをプラズマに結合させ、一般にアンテナ単体から放射され得る静電結合成分などのスプリアス成分を放射することがないので、異常放電や、イオン異常加速による構造部材のスパッタリングを防止することが出来、信頼性のあるプラズマ源を形成することが出来る。  
 【0043】この空洞共振器による閉空間構造は、第2の利点がある。閉空間以外の空間に、金属導体を設置しても、電波のプラズマへの放射は影響を本質的に受けない。従来技術における誘導コイルは、近傍に導体板を不用意に置くと磁束がそこでさえぎられてしまい、プラズマ発生が出来ない問題があったが、本発明はそれを解決

【0044】この空洞共振器による閉空間構造は、第3の利点がある。アンテナの入力インピーダンスを下げる事が出来る。従来誘導コイルのアンテナインピーダンスは、コイルのインダクタンス  $L$  でほぼ決まり、 $j\omega L$  ( $\omega$  は角周波数) となる。閉空間構造においては、アンテナモジュールは一種の同軸分布定数線路を形成しており、そのインピーダンスは次式で与えられる。

【0045】

【数3】

$$Z = (L + C)^{\frac{1}{2}} \cdots \text{(数3)}$$

【0046】ここで  $C$  は中心導体と空洞共振器内壁との間のキャパシタンスであり、構造上の工夫によって、 $C$  を大きく、したがってインピーダンスを小さくすることが出来る。同時に、中心導体そのものも扁平な形状にすることが可能なので、 $L$  の値を小さく、インピーダンスを小さくすることが出来る。また、本構成は分布定数系であるのでアンテナ長 (実効) と印加周波数を適当に選べば、終電端のインピーダンスを純抵抗に近づけることが可能で、インピーダンスマッチングを容易に出来る。この空洞共振器による閉空間構造によれば、より重要な第4の利点がある。それは、プラズマの均一性確保により明確な効果を発揮する点にある。これを図を用いて説明する。図3 (b) は、この従来技術を改良し、リング状プラズマ発生となるように RF コイルの巻き方を、周辺巻きにした容易に類推可能な改良案、図3 (c) は、本発明の空洞共振型によるものである。

【0047】すでに述べたように図3 (a) の従来技術

では、誘導コイル3が生成する磁力線  $H$  のパターンが中央に寄っているため、電磁誘導の法則で形成される誘導電場  $E$  も中央寄りとなって、均一なプラズマが作れない。

【0048】図3 (b) のように、コイル3を離して通電することが容易に思いつくが、これも充分ではない。コイルを離しても、形成される磁力線  $H$  がチャンバ中央を貫くため、依然として中央付近に強い誘導電場  $E$  を形成する。

【0049】図3 (c) による生成磁力線  $H$  は、違ったパターンとなる。アンテナ導体3をとり囲む空洞共振部4があるため、磁力線  $H$  は、空洞共振器の中に閉じ込められた形となり、その結果としてプラズマ発生領域はアンテナ直下で、リング状となり、試料ウェハ上への等方拡散の過程で、結局平均化されて均一プラズマとなる事が、期待されるのである。

【0050】すなわち、本発明の空洞共振方式で始めてリングプラズマで発生および資料上への均一プラズマ照射が可能となる。

【0051】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施例にて説明する。図1は、本発明の一実施例によるマイクロ波プラズマ処理装置の一部を縦断面で表わした正面図である。図1において、マイクロ波は導波管A1より送られてきて、同軸導波管変換器A2にて同軸TEMモードに移り、小径同軸管A3を伝わる。同軸管A3を出たマイクロ波は、平行ディスク導波管A4に移り、拡がったあと、大口径同軸管部A5に移り、処理室A6内に入る。処理室周囲には静磁場発生用電磁コイルA7があり、E-C-R面A8を形成している。プラズマ発生部A9はこれに対応してリング状となり、ウェハ設置電極A10上に至って均一化する。図1にて、A11は石英等で形成される真空導入窓である。この体系下でプラズマの発生状況を測定した結果を図4 ((a) (b)) に示す。図4 ((a) (b)) は電極上の位置にて飽和イオン電流密度 (ウェハ直上のプラズマ密度に相当) を二次元分布測定したもので (図4 (a) はE-C-R面: ウェハ上79mm、図4 (b) はE-C-R面: ウェハ上99mm)、磁場条件によって高均一あるいは凹型分布が得られることがわかる。又、得られた電流密度は、C.F.プラズマにて10mA/cm<sup>2</sup>以上と高く、均等的に要求されるレベルに達する。投入したマイクロ波パワーは1~2kWであったが、導波管部の過熱等はなかった。

【0052】このようなマイクロ波放射器の寸法諸元について、図5を参照して述べる。小径同軸管特性インピーダンス  $Z_0 = 50\Omega$ 、平行ディスクインピーダンス  $Z_1 (R)$ 、拡大同軸部インピーダンス  $Z_2$  を各接合部にてマイクロ波の反射がおこらないよう一致させる必要がある。インピーダンス  $Z_1$  は公知文献はなく、新たに導出した。結果を記せば、

【0053】

【数4】

$$Z_1(R) = \frac{bZ_0}{2\pi jR} \cdot \frac{Y_0'(KR)}{Y_1'(KR)} \dots \quad (\text{数4})$$

【0054】となる。ここで、b：ディスク間距離、  
R：半径方向位置、 $70 = 377 \Omega$ 、j：虚数単位、Y\*

$$Z_1(R) = \frac{Z_0 b}{2\pi R} = 60 b / R \dots \quad (\text{数5})$$

【0057】と近似される。

【0058】拡大同軸部のインピーダンス $Z_1$ は、

【0059】

【数6】

$$Z_2 = 60 \ln \frac{R_2}{R_1} \dots \quad (\text{数6})$$

【0060】と表されるので、 $Z_0$ ： $Z_1(R_1)$ 、 $Z_2$ ：  
 $Z_1(R_2)$ となるように、諸元 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、b  
を決めれば良い。

【0061】図6は、本発明の第2の実施例を示すもの  
である。プラズマの均一性は、完全に均一より凸型から  
凹型にかけて調整可能なことが望まれる。これは、被処  
理試料のたとえばエッチングの均一性が、プラズマ均一  
性以外に処理ガスや高周波バイアスの均一性によっても  
支配され、プラズマの均一性を調整できることによっ  
て、他の均一性決定要因の影響をカバーして、最終的な  
エッチング均一性を確保することを意味する。図4は、  
リング放射部を二重に設け、内周リングと外周リングそ  
れぞれからマイクロ波が放射されるようにしたものであ  
る。ディスク間隔bと、内周リング部開口径 $\Delta R$ をかえ  
ることによってパワーの配分が変わり、処理室内のマイ  
クロ波の分布がかわる。 $\Delta R$ を変えるには、ディスク部  
品A41をつけかえるようにする。あるいは、bをかえ  
るようにして、図7に示すように上からネジ機構A42  
によって変えるようにしても良い。あるいは、図8に示  
すように平行ディスクの天井部材A43をプランジャー  
機構によって可変にする。図6の方式は、均一性をかえ  
る毎に部品交換が生じる。しかし、導波管路が図7、図  
8に比べてシンプルで信頼性にすぐれる。逆に図7、図  
8は均一性調整の能率は向上するが、導波管路に可動部  
分を持ち込むので、大電力通過時の信頼性が課題とな  
る。

【0062】図9は第3の実施例を示したもので、平行  
ディスク下部の処理室Aに面する側に導電体構造物（A  
1等）を導入し、ウェハに対する対向電極A13を形成  
する。これによって高周波バイアスの均一化を図る。

又、この位置の部材をSiやSiCにすれば、プラズマ  
中の過剰フッ素を吸収し、SiO<sub>2</sub>エッチングプロセス  
における対下地（Si）選択比を向上させることができ  
る。又、本発明では処理ガス吹出し機構A14を、この  
スペースを利用して備えており、処理ガスの流れA15

\*、2：1次の第2種ハンケル関数、 $K = 2\pi/\lambda$ ：波  
数、入波長である。

【0055】 $KR > 1$ であれば、 $Z_1(R)$ は漸近的に

【0056】

【数5】

が中央部から外周部に流れることによって、処理ガスの  
均一性が期待できる。又、このスペースには磁石（コイ  
ルあるいは永久磁石）又は磁性体A16を設置すること  
が可能であり、磁力線構造A17を図のように配置する  
ことによって、プラズマの均一性を増大することもでき  
る。

【0063】つぎに高周波プラズマ系に関する一連の本  
発明を実施例にて説明する。図10は本発明の第5の実  
施例を示す説明図である。図10において、処理室10  
は、円筒状側壁11と石英天板12および試料載置台1  
3で構成されている。アンテナモジュール9は、石英天  
板12上にリングにして置かれている。アンテナモジュ  
ール9は、ループアンテナ3と、空洞共振器4、スリッ  
ト5等で構成されている。空洞共振器4より出た電波1  
4は、図中矢印の如く放射されプラズマ6が発生する。  
これが拡散によって拡がり、試料載置台13に達する  
ときには、試料全面にわたって均一なプラズマとなる。

【0064】図10(b)は、アンテナモジュール9の  
下面から見たものである。二層になったスリット5を一  
部とり除き、中のアンテナ本体3が見れるようにしてあ  
る。

【0065】図11は、本発明の第6の実施例を示す説  
明図である。一般に、電極結合されたプラズマは、アン  
テナモジュールとプラズマの距離が接近している方が、  
プラズマの着火性の点で望ましい。しかし従来の技術に  
おいては、同時に静電結合成分が増大し、イオン異常加  
速が問題となり、アンテナとプラズマは近づけることが  
出来なかった。

【0066】本発明では、静電結合成分を発生させるこ  
とがないので、アンテナとプラズマを十分に接近させ、  
着火性を高めることが出来る。図12では、空洞共振器  
4を真空バウンダリーと兼用することにし、Oリング1  
5にて、処理室本体10と、接合する。アンテナモジュ  
ール前面は、直接プラズマが重金属にさらされること  
のないようカバー16（石英あるいは、アルミナセラミッ  
クスあるいはサファイヤなど）が装着される。空洞共振  
器は、真空となり共振器内にプラズマが点火してしま  
うことを避けるため、別途排気口17を設け、差動排気  
することによって、高真空に維持し、空洞内放電をさけ  
る。

【0067】本発明第6の実施例においては、他の副次



的かつ重要な効果が生じる。一般に、プラズマ処理装置をエッチングあるいはスパッタCVD装置に応用する際には、試料載置台にプラズマ生成とは別系統の高周波19を印加し試料に自己バイアスを印加して、プラズマ中のイオンを試料の表面に垂直に引き込むようにして、試料の加工精度や加工速度を向上させる。しかるに、従来の技術においては、この第2高周波19の回路の接地対向電極となるべき導体が、処理室の内壁側壁12であったためプラズマを介した高周波回路が試料中央からと、試料端部とからでは距離が異なるため、インピーダンスが同一ではなく処理に不均一が生じていた。処理の不均一が生ないためには、試料に対向する位置に平行平板状に接地電極を設置出来ればよいが、従来の誘導結合高周波プラズマにおいては、誘導磁束をさえぎってしまうため、それが不可能であった。本発明の第2の実施例においては、アンテナモジュールおよび、アンテナモジュールの内壁の金属天板部分18が、充分薄いカバー16を介してプラズマに面しており、試料全面に対して平行に設置された対向アース電極として機能出来るため、処理の均一性が向上する。(高周波回路としては、カバー16が薄ければ容量性コンデンサー素子としてのインピーダンスは十分に小さく、導体18を接地電極として機能させることが出来る。たとえば、13.56MHzの高周波を第2高周波19として用いる場合、カバーとしては3mm厚以下の石英であれば充分である。)図12は、本発明の第7の実施例である。本一実施例は、アンテナ本体3と、アンテナ出口5との間に、石英あるいはアルミナセラミックス等で出来た絶縁スペーサ20を挿入したものである。このスペーサは共振器本体4との間で、封着あるいはOリングによって真空封じされている。この結果、図3で述べた一実施例のような差動排気の必要はなくなり、構造がシンプル化する。

【0068】本実施例では、別の副次的効果が生じる、作用のところで述べた如くアンテナは、分布の定数回路を構成しており、その線路のインピーダンスを下げることで、電流を多く電圧を低くする上で望ましい。電流を多くすることでプラズマとの結合性を高め電圧を低くすることでアンテナ周りでの異常放電を妨げるからである。線路のインピーダンスは、線路の特性インダクタンスLと、特性キャパシタンスCとで決り次式で与えられる。

【0069】

【数3】

$$Z = (L + C)^{\frac{1}{2}} \cdots (\text{数3})$$

【0070】Cはアンテナ本体3と、スリット導体5との間のキャパシタンスで決まるので、アンテナ本体3とスリット導体5の間を、放電破壊を起こさない範囲内で近づけ、かつアンテナ本体3とスリット導体5間の比誘電率を高くするのが、Cを大きくひいてはZを小さくす

るのに良い。これには、アンテナ本体3とスリット導体5の間に石英あるいはアルミナ等で出来た誘電スペーサ20を入れるのが良い。

【0071】図13は、本発明の第8の実施例を示す図である。本発明では、空洞共振器4のうちのスリット部分5を、2枚のカバーガラス16aと16bとで置き換え、それぞれのカバーガラスには、AlあるいはAuの蒸着16cによってスリットパターンを形成した。これによって、図11、図12のようなスリット導体を廃することが出来、スリット周辺の複雑な構造が図11、図12に比べて単純化され信頼性が向上する。

【0072】図14は、本発明の第9の実施例を示す図である。本発明では、アンテナモジュール9をドーム状の石英ベルジャー21上に載置した。ドーム状ベルジャーを用いる理由は、構造強度上ベルジャーを薄く出来るためであり、ベルジャーを薄く出来る結果、アンテナモジュールと、プラズマとの結合がよくなり、プラズマの着火性が向上するためである。

【0073】図15の第9の実施例では、アンテナモジュール9を円心円状に2つ並べ、それぞれ別系統の高周波源191、192に接続した。各アンテナ92、96に流れる電流の大きさ、および相対位相をそれぞれのアンテナをドライブする高周波電源から制御することによりプラズマの発生する位置を制御出来、ひいては試料上へ到達するイオン量の分布を調節することが出来る。

【0074】図16の第11の実施例では、シルクハット状の石英ベルジャー21を設けアンテナモジュールをベルジャーの側面に設置するようにした。シルクハット状のベルジャーとすることにより、少なくともベルジャー側面の肉厚を薄くすることが出来、プラズマとの結合性を高めることが出来る。

【0075】

【発明の効果】以上、説明した如く、本発明によれば、シンプルな構成にてプラズマ処理室に要求される様々な要求(プラズマの均一性、均一性の制御性、対向アース電極の設置など)を満たす方法および装置機造を提供することができる。

【0076】さらに、本発明によれば、

(1) アンテナとプラズマの静電結合による異常放電やスパッタリングを起すことがなく、異物低減、装置の長期信頼向上に資する。

【0077】(2) アンテナとプラズマの距離を近づけることが出来るため、放電の着火性や安定性を向上させることが出来る。

【0078】(3) アンテナインピーダンスを少なくすることが出来るためマッチングがとりやすくなり安定性が増すと同時に、アンテナ高電圧に起因する異常放電結合をなくすることが出来る。

【0079】(4) アンテナモジュールで囲まれる空間にも導体を置くことが出来るため、試料に平行な接地電

15

極を形成出来、処理の均一性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第一の実施例を示す説明図である。

【図 2】 本発明の原理を示す図である。

【図 3】 本発明の原理を示す図である。

【図 4】 本発明によるプラズマ試験の結果を示す説明図である。

【図 5】 本発明の寸法関係を示す説明図である。

【図 6】 本発明の第 2 の実施例 (1) を示す説明図である。

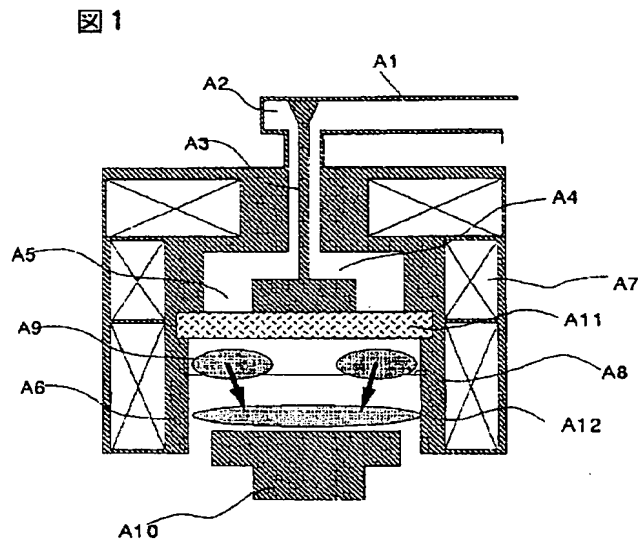
【図 7】 本発明の第 2 の実施例 (2) を示す説明図である。

【図 8】 本発明の第 2 の実施例 (3) を示す説明図である。

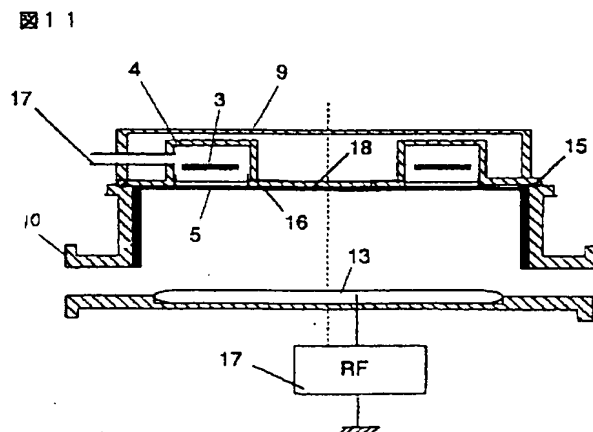
【図 9】 本発明の第 3 の実施例を示す説明図である。

【図 10】 本発明の第 4 の実施例を示す説明図である。\*

【図 1】



【図 11】



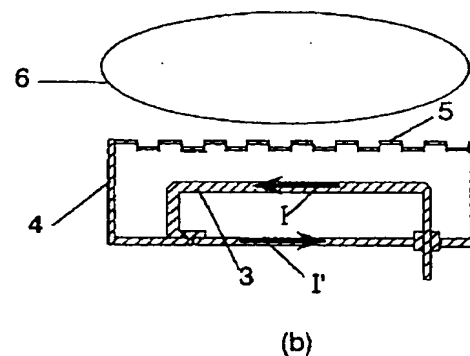
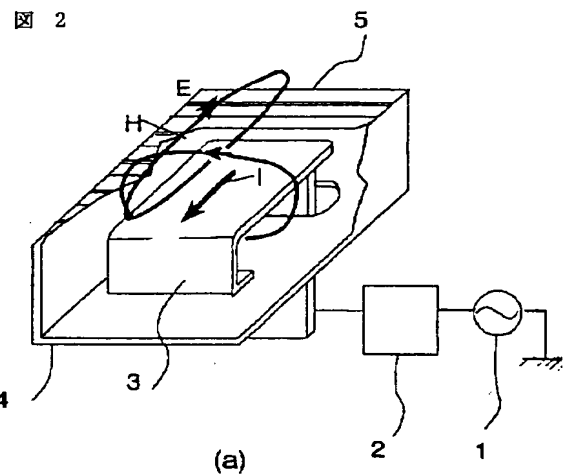
16

- \* 【図 11】 本発明の第 5 の実施例を示す説明図である。  
 【図 12】 本発明の第 6 の実施例を示す説明図である。  
 【図 13】 本発明の第 7 の実施例を示す説明図である。  
 【図 14】 本発明の第 8 の実施例を示す説明図である。  
 【図 15】 本発明の第 7 の実施例を示す説明図である。  
 【図 16】 本発明の第 10 の実施例を示す説明図である。

【符号の説明】

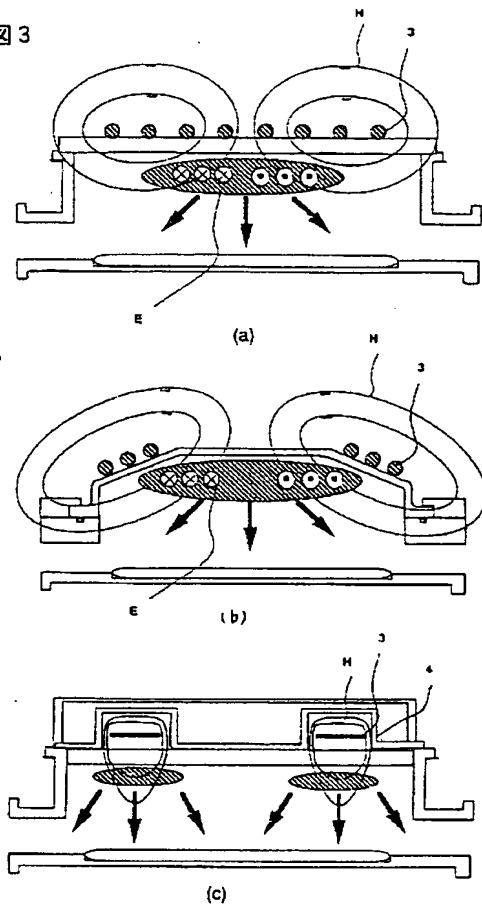
1…高周波源、2…マッチングボックス、3…ループアンテナ、4…空洞共振器、5…スリット、6…プラズマ、8…第 2 高周波、9…アンテナモジュール、10…処理室、11…側壁、12…天板、13…試料載置台、14…電波、15…リング、16…カバー、17…排気口、18…対向電極、19…高周波、20…スペーサ、21…石英ベルジャ。

【図 2】



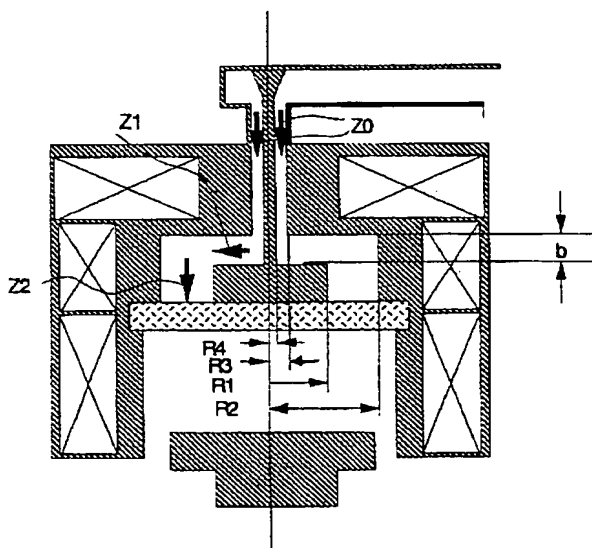
【図3】

図3



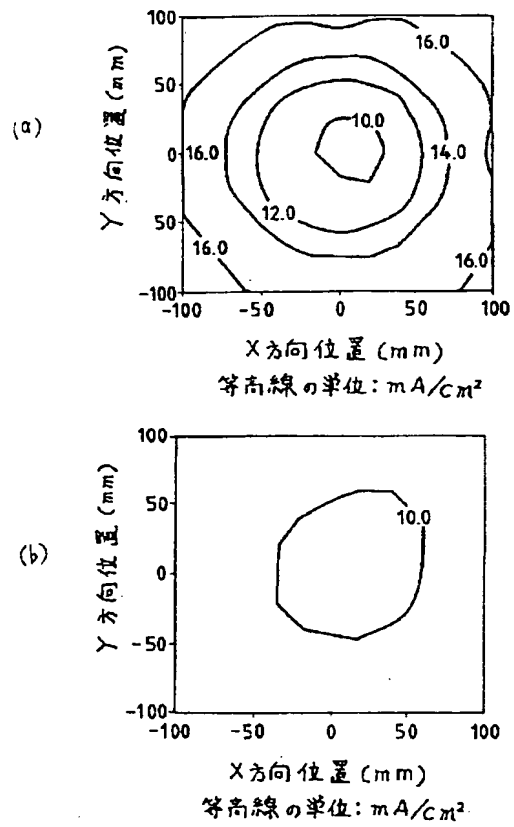
【図5】

図5



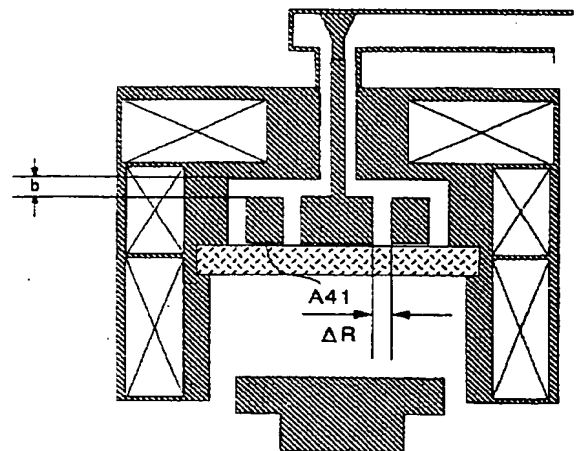
【図4】

図4



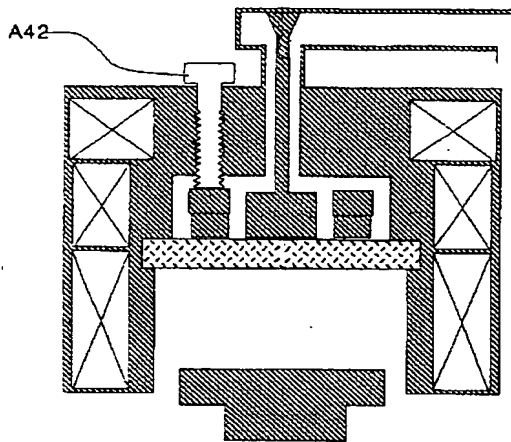
【図6】

図6



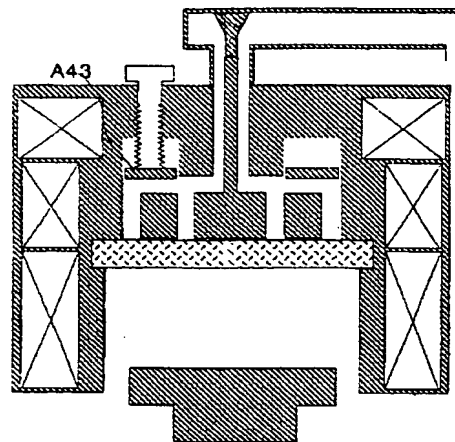
【図7】

図7



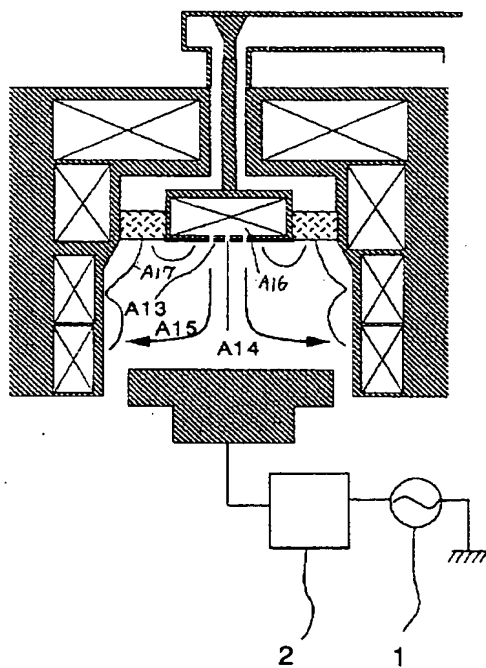
【図8】

図8



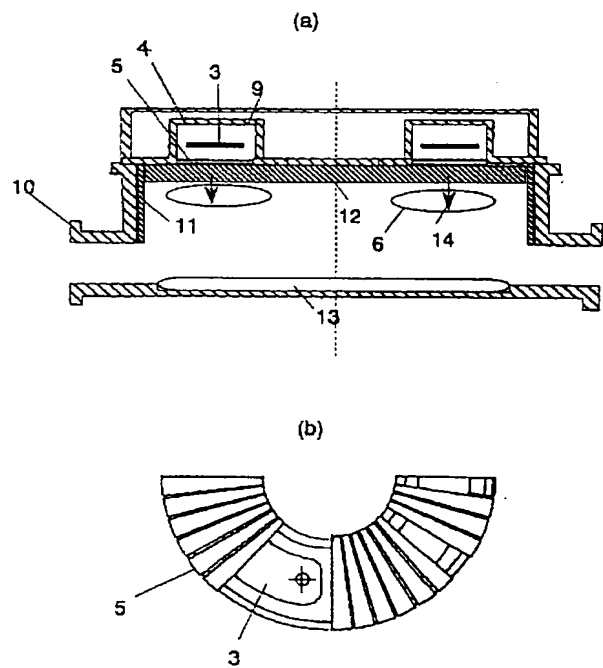
【図9】

図9

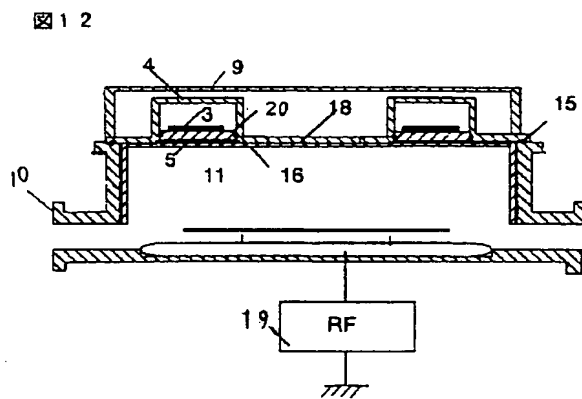


【図10】

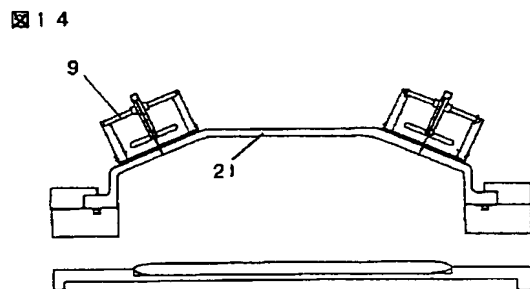
図10



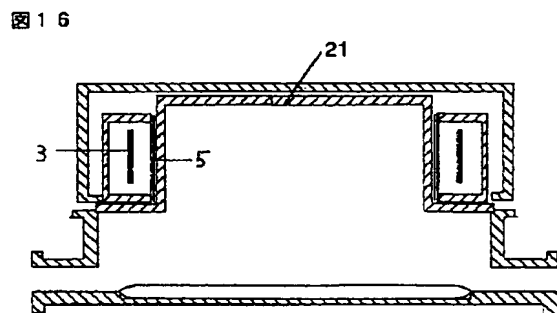
【図12】



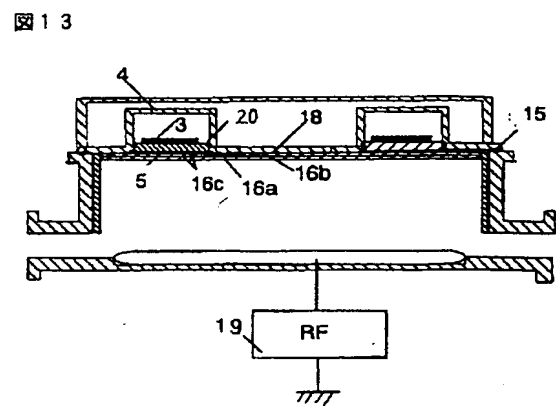
【図14】



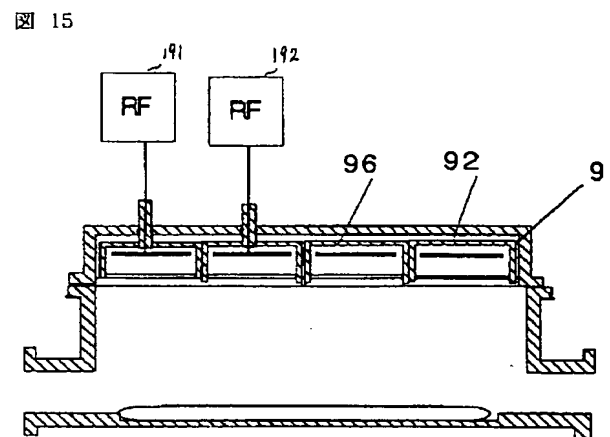
【図16】



【図13】



【図15】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
H01L 21/3065

識別記号 庁内整理番号

F I  
H01L 21/302

技術表示箇所

B  
BEST AVAILABLE COPY

(72)発明者 西尾 良司  
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
立製作所機械研究所内

(72)発明者 枝村 学  
茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
立製作所機械研究所内